

единичные молекулы асфальтенов, самые малые из которых были детально проанализированы, определены их геометрические размеры.

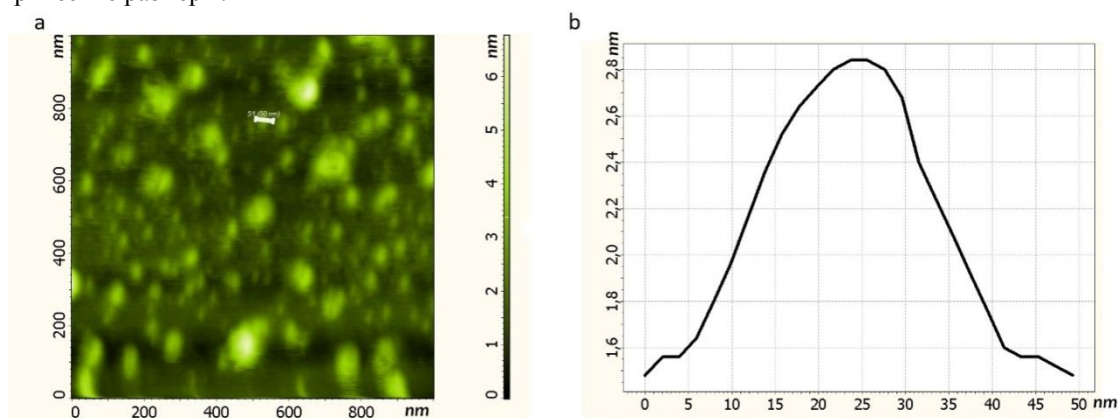


рис. 1. а) АСМ-изображение пленки асфальтенов; б) профиль сечения, выполненный по линии, показанной на рис. 1а

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-42-020616 и проекта № AP05132165 Республики Казахстан.

Список публикаций:

- [1] Барская Е.Е., Ганеева Ю.М., Юсупова Т.Н., Охотникова Е.С., Романов Г.В. Роль различных типов асфальтенов в формировании структуры высоковязких нефтей // *Химия нефти и газа*. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2015. С 454-460.
- [2] Edo S. Boek., Thomas F. Headen, Johan T. Padding Multi-scale simulation of asphaltene aggregation and deposition in capillary flow // *J. The Royal Society of Chemistry*. 2010. № 144. P. 271-284.
- [3] Шарипов Т.И., Бахтизин Р.З., Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М. и Бадретдинов Б.Р. Исследование надмолекулярной структуры нефтяных асфальтенов. // *Бутлеровские сообщения*. 2019. №3. Т.57. С. 99-104.
- [4] Доломатов М.Ю., Шуткова С.А., Шарипов Т.И., Бахтизин Р.З., Ишниязов З.З., Нурахметов Т.Н., Салиходжа Ж.М. Особенности молекулярной и надмолекулярной структуры наночастиц нефтяных асфальтенов. // *Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ*. 2019. №1(126). С. 23-32.

Сравнительная характеристика результатов плазменного распыления тонких эпитаксиальных пленок селенида свинца, теллурида свинца и селенида свинца-олова вблизи порога

Гусева Ксения Евгеньевна

Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова

Зимин Сергей Павлович, д.ф.-м.н.

kсениаg96@mail.ru

Известно, что плазменная обработка поверхности многокомпонентных материалов низкоэнергетичными ионами приводит к специфическим эффектам наноструктурирования. В работах [1-3] нами были показаны необычные результаты плазменного распыления некоторых материалов из семейства халькогенидов свинца. При травлении эпитаксиальных пленок $\text{PbSe}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$ и $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$ ($x=0,03$) наблюдалось формирование полых свинцовых микронных и субмикронных структур. Целью данной работы явилось продолжение исследований на примере пленок теллурида свинца и сравнение полученных результатов с результатами предыдущих работ.

Исследования проводились на эпитаксиальных пленках теллурида свинца $\text{PbTe}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$. Плазменное распыление образцов проводилось в реакторе высокоплотной плазмы высокочастотного (ВЧ) индукционного разряда низкого давления при следующих параметрах установки: ВЧ-мощность индуктора 800 Вт, рабочее давление 0,07 Па, ВЧ-мощность смещения на электроде-подложкодержателе - 0 Вт, времена обработки 60, 120, 180 и 240 с. При таком режиме работы реактора энергия налетающих ионов аргона составляла 20-25 эВ.

Поверхность образца теллурида свинца в исходном состоянии имела однородный рельеф с треугольными ямками выхода дислокаций с латеральными размерами до 200 нм. При обработке образца $\text{PbTe}/\text{CaF}_2/\text{Si}(111)$ в течение 60 с на поверхности произошло однородное наноструктурирование с формированием частиц квазисферической формы со средними размерами 20 нм и поверхностной плотностью $1,8 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$. На рис.1 показана сравнительная временная динамика модификации рельефа поверхности пленок PbSe , $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Se}$ ($x=0,03$) и PbTe после проведения плазменной обработки в течение 120-240 с.

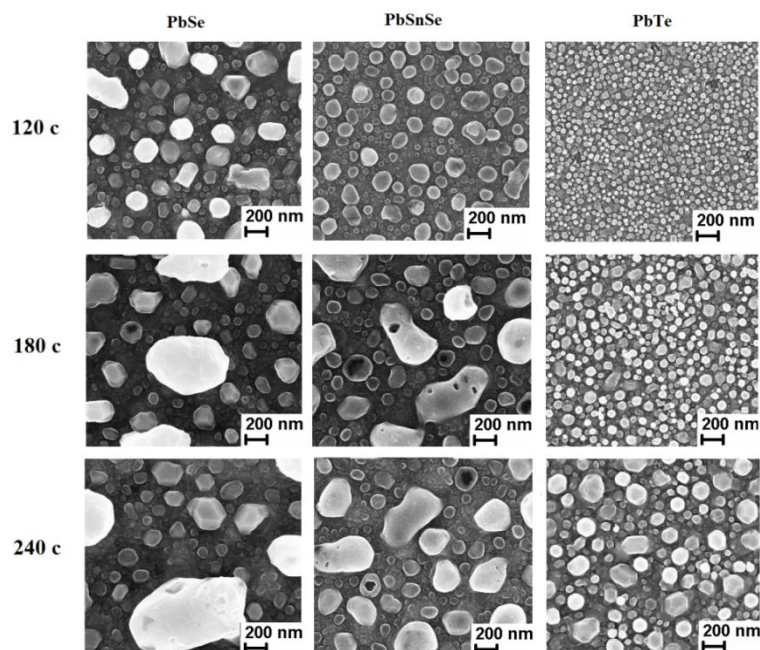


рис.1. Динамика модификации рельефа поверхности плёнок PbSe, $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) и PbTe после плазменной обработки в течение 120 с, 180 с и 240 с.

При увеличении времени плазменного распыления для всех исследуемых материалов наблюдается одинаковая тенденция, заключающаяся в росте частиц до субмикронных и микронных размеров. Если для времени обработки 120 с максимальный размер частиц достигал 300 нм для материала PbSe, 125 нм для $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) и 55 нм для PbTe, то после обработки образцов в течение 240 с размеры структур возросли до 950, 400 и 270 нм, соответственно. Поверхностная плотность формирующихся частиц при этом уменьшалась. Для селенида свинца поверхностная плотность при учете частиц всех размеров уменьшилась с $1,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для времени распыления 120 с до $0,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ для продолжительности обработки 240 с. Для пленки тройного твердого раствора значение поверхностной плотности структур при аналогичных условиях понизилось с $3,7 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (120 с) до $1,1 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ (240 с). Плотность структур на поверхности пленки теллурида свинца уменьшилась со значения $3,6 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при времени обработки 120 с до $2,9 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$ при травлении в течение 240 с.

Числовые различия в количественных характеристиках объясняются различными скоростями распыления пленок халькогенидов свинца и скоростями роста наноструктур. Было установлено, что скорость распыления пленки PbSe составляет 0,5 нм/с, PbTe – 0,7 нм/с и $Pb_{1-x}Sn_xSe$ – 0,9 нм/с. Кроме того, PbSe характеризуется самой высокой скоростью роста частиц ~3 нм/с. Для $Pb_{1-x}Sn_xSe$ ($x=0,03$) скорость роста составляла ~1,4 нм/с, а для PbTe ~0,9 нм/с. Следует отметить, что большие времена травления (высокие температуры процесса) приводят к появлению огранки частиц и образованию полостей в объеме микронных структур. Локальный энергодисперсионный рентгеновский анализ зафиксировал отсутствие в частицах атомов халькогена.

Таким образом, в результате работы показано, что плазменная обработка поверхности плёнок селенида свинца, теллурида свинца и селенида свинца-олова вблизи порога распыления сопровождается общими физическими процессами: формированием полых металлических субмикронных и микронных структур, некоторые из которых имеют огранку в виде усеченного октаэдра. Для объяснения механизма образования таких частиц можно использовать гипотезу, предложенную в работе [3]. В докладе рассматриваются различия в поведении изучаемых материалов при плазменной обработке в области низких энергий ионов.

Автор выражает признательность д.ф.-м.н., профессору С.П.Зимину за оказанную помощь при подготовке материалов и благодарит И.И. Амирова и В.В. Наумова за помощь в проведении экспериментальных работ. Исследования выполнены на оборудовании ЦКП «Диагностика микро- и наноструктур».

Список публикаций:

- [1] Зимин С.П., Наумов В.В., Амиров И.И., Гусева К.Е. // Письма в ЖТФ. – 2018. – Т. 44. – В. 12. – С. 32 – 38..
- [2] Пипкова А.С., Гусева К.Е. // Сборник материалов седьмой научно-практической конференции с международным участием «Наука настоящего и будущего», ЛЭТИ, Санкт-Петербург, 2019, С. 124-127
- [3] Гусева К.Е.. // Сборник материалов двадцать пятой всероссийской научной конференции студентов-физиков и молодых учёных «ВНКСФ-25», 2019, Институт электрофизики УрО РАН, Республика Крым, Севастополь С. 131-132.